

Effets de deux substrats (*Marc de café et Grignons d'olives*) sur la production de champignon de Paris (*Agaricus bisporus*, L.) dans la ferme de l'Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef (Tunisie)

Naceur Boussaidi^{(1)*}, Wahbi Jouadi⁽²⁾, et Sana Hamrouni⁽³⁾

(1& 2) Institut Sylvo-Pastoral- Tunis- Tunisie
(3) Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef- Tunisie

Résumé-

La culture en caisses du champignon de Paris (*Agaricus bisporus*, L) dans des conditions fraîches plus au moins contrôlées est aujourd'hui très répandue sur divers types de substrats. L'impact de l'usage de deux substrats (Marc de café et Grignons d'olives) comparés à un substrat commercial de référence a été déterminé. L'ensemencement d'une souche d'*Agaricus bisporus* a montré que la souche a colonisé tous les substrats et a produit des carpophores en nombre variable

Le substrat du marc de café est le plus efficace de point de vue rendement (29.22 g/Kg) et efficacité biologique de 3.25%. La meilleure qualité marchande des champignons avec 5.3 pieds par caisse, un poids moyen du carpophore de 109.5 g, un poids total de 584.4 g par caisse, un diamètre du chapeau de 9.2 cm et hauteur de pied de 4.1 cm ont été obtenues. Le substrat à base de grignons d'olives a donné un rendement faible de 7.39/Kg et une efficacité biologique de 0.73 %. Cette étude montre la faisabilité de la valorisation du marc de café pour la production de champignon de Paris est à la fois rentable et efficace.

Mots clés : Champignon de Paris, substrats, résidus agro-industriels, marc de café, grignons d'olives.

Effects of two substrates (coffee Marc and olive olives) on the production of Paris mushroom (*Agaricus bisporus*, L.) on the farm of the Higher School of Agriculture of Kef (Tunisia)

Abstract

The box culture of the Paris mushroom (*Agaricus bisporus*, L) under cool conditions that are more or less controlled is now widespread on various types of substrates. The impact of the use of two substrates (coffee Marc and olive olives) compared to a reference commercial substrate was determined. Seeding of a strain of *Agaricus bisporus* showed that the strain colonized all substrates and produced variable number of spores.

The coffee grounds substrate is the most efficient in terms of yield (29.22 g / kg) and biological efficiency of 3.25%. The best marketable quality of mushrooms with 5.3 feet per case, a mean carpophore weight of 109.5 g, a total weight of 584.4 g per case, a hat diameter of 9.2 cm and a height of 4.1 cm were obtained. The olive pomace-based substrate gave a low yield of 7.39 / kg and a biological efficiency of 0.73%. This study shows the feasibility of valorizing coffee grounds for the production of mushrooms is both profitable and effective.

Key words: Paris mushroom, substrates, agro-industrial residues, coffee grounds, olive cake.

* Corresponding author. Wahbi Jaouadi
E-mail: jaouadiwahbi@gmail.com
Address: Institut Sylvo-Pastoral Tunisie

1- Introduction

Suite aux développements technologiques dans l'industrie des champignons et la qualité naturelle de ces espèces fongique pour des bénéfices environnementaux et économiques, la capacité et l'amélioration de leurs productions ont augmenté plus particulièrement le champignon de Paris. Cependant, les producteurs de cette espèce sont très peu nombreux dans le pays. Pour combler la demande croissante de ce produit, les points de vente tentent à l'importation.

L'insécurité alimentaire a comme causes essentielles l'épuisement des sols et la faiblesse des revenus de ménages surtout ruraux. À ces deux causes vient se greffer la forte densité démographique qui rend difficile l'acquisition des terres agricoles [4]. Dans des pays à fortes densités de population et aux sols dégradés, les produits forestiers non ligneux (PFNL) sont une alternative permettant aux populations rurales d'éviter les carences alimentaires et constituent une source de revenus conséquente. Parmi ces PNFL, les champignons sont particulièrement recherchés en raison de leur valeur marchande ainsi que pour les nombreux sels minéraux et vitamines qu'ils contiennent ([5]; [13]; [18] et [3]). Selon l'analyse scientifique, les champignons comestibles montrent qu'ils contiennent beaucoup des protéines et des acides amines plus que des légumes.

Un grand intérêt de consommation des champignons comestibles concerne sur ses contenus protéiques qui sont rapidement disponible au corps grâce à sa digestibilité facile. Les champignons comestibles sont particulièrement riches en un grand nombre de vitamines du groupe B, spécialement en Riboflavine et en Acide nicotinique. Ils contiennent aussi les montants de vitamines C et H en quantité modère.

Les champignons sont riches aussi en sels inorganiques tels que Phosphore, Potassium, Sodium et Calcium. Cependant, malgré la forte demande sur le marché, la production des champignons dans les pays en développement reste faible. Ceci peut être attribué à l'insuffisance des connaissances sur la conduite de la myciculture, le choix de souches en fonction des exigences écologiques et les types de substrats adaptés [17].

En Tunisie, la consommation des champignons est faible de ce fait la culture de champignon de Paris est relativement rare. Les techniques de production dans le monde de cette espèce de champignon qui ont évolué partout dans le monde, restent peu connues dans le pays.

Pour améliorer le rendement en quantités et en qualité de l'espèce *Agaricus bisporus* et pour valoriser les déchets agro-industriels (marc de café et grignons d'olives) utilisés comme substrats de fructification avec le compost.

A cet égard, l'objectif de ce projet de fin d'étude est de réaliser un essai de production de champignon de Paris sur quatre différents substrats pour tester leurs effets sur la production de cette espèce.

2- Matériel et Méthode

2-1- Matériel

2-1-1- Importance de l'espèce

1- Intérêt alimentaire

Le champignon de Paris a de nombreux usages dans les domaines alimentaires et pharmaceutiques humains grâce à sa composition en acides aminés essentiels, acides gras, hydrates de carbone, faibles calories, fibres brutes, oligo-éléments et vitamines [14].

2- Intérêt médicinale

Le champignon de Paris est considéré comme une espèce médicinale grâce à sa richesse en riche en certains ingrédients actifs, tels que les polysaccharides, les lipopolysaccharides, les acides aminés essentiels, les peptides, les glycoprotéines, les nucléosides, les triterpénoïdes, les lectines, les acides gras et leurs dérivés, qui ont des propriétés antimicrobiennes, anticancéreuses, antidiabétiques, activités anti-hypercholestérolémiques, antihypertensives, hépatoprotectrices et antioxydantes. Des nanoparticules ont été récemment synthétisées à partir d'*A. bisporus* afin de traiter le cancer, les maladies virales, bactériennes et fongiques. ([14] et [1])

3- Intérêt écologique

Ce basidiomycète est très utilisé dans le recyclage des agro-déchets, notamment la paille de blé, les déchets de plantes de roseaux, les déchets de papier, la paille d'avoine, certaines plantes aquatiques et autres [14].

Il est cultivé sur des substrats riches en carbone et en azote, tels que la paille de céréales compostée et le fumier de ferme. Le cycle de production de champignons commerciaux est généralement réalisé dans des bâtiments ou des tunnels dans des conditions environnementales très contrôlées [8].

4- Intérêt économique

Le champignon blanc *Agaricus bisporus* est très populaire dans le monde. En 1997, la part du bouton champignon est tombée à 32 pour cent et les champignons comme le shiitake, pleurotes, champignon de paille de paddy, champignon d'oreille de bois, etc

Economiquement, il est le plus important champignon comestible commercialement produit. Dans la nature, le basidiomycète *Agaricus bisporus* a une influence significative sur le cycle du carbone dans les écosystèmes terrestres en tant que décomposeur des feuilles mortes ([8], [10] et [11]).

Au Mexique, une récente étude a offert une perspective en se basant sur les caractéristiques des souches sauvages d'*Agaricus bisporus*. Ces dernières indiquent qu'elles possèdent un potentiel intéressant pour l'introduction sur le marché régional. Cependant, plus des expériences sont nécessaires pour améliorer les paramètres de productivité [16].

2-1-1-1. Aperçu sur L'Agaricus bisporus ou champignon de Paris

L'*Agaricus bisporus* possède un pileur rond, dont la largeur oscille entre 4 et 6 cm, d'un blanc velouté qui va se tacher d'ocre ou de brun. Au stade jeune, Le chapeau est attaché au pied par un voile secondaire. (*on n'aperçoit pas ses lamelles*). L'ouverture de ce voile libère ainsi un petit anneau.

En vieillissant, le chapeau va s'aplatir. La cuticule est d'aspect blanchâtre avec des écailles bien différenciées et des lamelles blanchâtres au début et couleur café à la fin. Ces lamelles sont serrées et libres avec un bord de ton plus clair. Le pied est cylindrique de 3-4 cm de

longueur et sa superficie est fibreuse, squameuse avec l'anneau en position médiane. Les basides sont souvent bisporiques et leurs spores ovales. Leurs cistides sont claviformes. Il a aussi une texture (chair) ferme, et est épais, de couleur blanchâtre et une légère saveur de noix.

2-1-1-2. Matériel fongique pour l'étude

La partie expérimentale de ce travail a porté sur le champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) qui appartient à la famille des agaricales.

Les semences ou les spores utilisées sont équivalentes aux graines des plantes cultivées. C'est le mycélium pur de la souche A15 en croissance sur un milieu de grains de céréales stérilisés. Le milieu est incubé sur un substrat de fructification pour donner des champignons.

2-1-1-3. Substrats de fructification

Nous avons utilisé comme substrat de fructification : le fumier de cheval, paille de blé et fientes des volailles. On a additionné deux ingrédients organiques : **1)** témoin, **2)** marc de café et **3)** grignons d'olive et s afin de tester leurs effets sur le nombre, le poids et la qualité des champignons produits (fermeté).

2-1-2- Méthodes suivies pour l'étude

2-1-2-1. Technique de culture et exigences

1- Compostage

Le compostage de substrat a été réalisé au niveau de la ferme. C'est un procédé de dégradation aérobie et de transformation de la matière organique par l'action combinée d'une multitude de bactéries. En effet, le fumier de cheval a été mélangé avec paille de blé et fientes des volailles.

Durant les trois semaines de compostage, on fait l'arrosage de substrat et le retournement des andains. Le mélange subit une diminution de volume qui s'accompagne par un dégagement de H₂O. L'azote et le carbone se volatilisent respectivement sous forme d'ammoniac et CO₂. Une montée en température qui atteint 80°C et s'accompagne d'une élimination des quelques pathogènes.

2- Pasteurisation

Ce processus a pour objectif de supprimer tous les organismes pathogènes mais aussi garder en vie ceux qui sont utiles. Pour atteindre ce but, la température doit être maintenue de 60°C à 70°C pendant 4h.

Cette étape est faite dans la même ferme dans une chambre de pasteurisation équipée par matériel de contrôle de facteurs d'ambiance.

3- Inoculation (Lardage)

Lorsque la température est maintenue à 25°C, le blanc est ajouté au mélange compost-substrat d'une manière homogène. Une quantité de 19 Kg de mélange est mis dans des sacs plastiques puis dans les caisses.

On ajoute à la surface une petite quantité de blanc pour augmenter la vitesse d'envahissement de mycélium dans le mélange. L'inoculation est faite automatiquement par des machines d'inoculation.

4- Traitement et ajout des substrats

Le marc de café (MC) et les grignons d'olives (G.O) ont été humidifié par l'eau afin d'obtenir un aspect pâteux. Ensuite, ils ont subi une stérilisation pendant 24h à 60°C.

Le Protocol a été réalisé avec 3 traitements et trois répétitions. Chaque unité expérimentale correspond à 3 caisses contenant chacune 19 Kg de compost. Une quantité de 6% de différents substrats a été ajoutée à chaque caisse.

5- Incubation

Après le lardage, le mycélium commence son développement afin d'envahir et coloniser tout le mélange compost-substrat. La température idéale pour la croissance mycélienne est 25°C, de préférence, elle ne dépasse pas 30°C. En outre, la teneur en gaz carbonique et l'humidité à l'intérieur des sacs doivent être élevés. La période d'incubation dure entre deux à trois semaines pour que la couche de substrat soit colonisée par le mycélium et ait un aspect blanchâtre.

Ce processus d'incubation a été effectué dans une chambre à la ferme de l'Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef (ESAK).

6- Etalonnage de la terre de gobetage

A la fin d'incubation et après la maturation de mycélium, le champignon de Paris a besoin d'une couche de terre de couverture pour qu'il puisse fructifier. La terre de gobetage est constituée de $\frac{3}{4}$ tourbe et $\frac{1}{4}$ calcaire. Cette couche va fournir un microclimat humide pour l'apparition des primordiaux. Ainsi, elle doit être stérilisée à pH 7.5 et un grand pouvoir de rétention d'eau pour le grandissement des champignons. En outre, elle stimule la croissance des bactéries pour favoriser la pousse et la fructification des champignons.

La technique de gobetage donne le meilleur poids en champignon. Cette performance serait liée aux conditions favorables dans le substrat fournies par la technique de gobetage entre autre, l'humidité et la température, qui jouent un rôle prépondérant dans la multiplication mycélienne [7].

Elle est étalonnée en une couche de 3 cm d'épaisseur. Lorsqu'elle commence à dessécher, il convient de l'arroser pour la maintenir humide, et de laisser la couverture plastique sur le substrat. En plus, l'humidité de l'air et la teneur en CO₂ dans une pièce fermée doivent être les plus élevées possibles.

La température de l'air devrait se maintenir entre 22°C et 23°C et la température du compost devrait se maintenir entre 25°C et 27°C. Dans ces conditions, la fructification intervient au terme de 14 jours.

7- Fructification

Lorsque le mycélium s'est bien développé dans la tourbe. Il acquiert une apparence blanche et duveteuse et les primordiaux commencent à apparaître. A ce moment, on doit maintenir la température entre 16°C et 18°C. L'action du CO₂ dans l'air sur la morphogenèse

des champignons est soit inhibitrice soit stimulante. L'humidité relative doit être très élevée (de préférence 95% ou plus). Pour atteindre cette valeur, la chambre est rafraîchie et humidifiée quotidiennement par l'arrosage des parterres et des murs.

8- Récolte

La récolte manuelle de fruits des champignons se fait quotidiennement. Pendant toute cette phase, la surface de compost a été arrosée et régénérée par la tourbe pour couvrir la couche de compost pendant la récolte.

2-1-3- Paramètres de production de champignon

Nous avons prélevé de chaque répétition des échantillons représentatifs de différents substrats pour les sécher à l'étuve à 60°C pendant 24h et les broyer à travers une grille de 1mm jusqu'à obtenir une poudre.

1- Analyse physico-chimique

Détermination du pH

Le pH du sol est mesuré dans le surnageant après agitation pendant 30 min d'une solution préparée avec 5 g de poudre végétale dans 25 ml d'eau distillée à l'aide d'un pH-mètre.

Détermination de la teneur en MS et Teneur en eau

Selon (AOAC, 1992), la teneur en matière sèche des échantillons est déterminée après leurs séchages dans une étuve à 105°C pendant 48 heures. La matière sèche est calculée.

$$\%MS = (P2 - P1) * 100 / (P1 - P0)$$

A partir de la valeur de la matière sèche, on calcule la teneur en eau : $Te = (P1 - P0) - P2 / (P1 - P0)$

Avec **P0** : poids de creuset vide en g, **P1** : poids de l'échantillon frais avec creuset en g et **P2** : poids de l'échantillon sec avec creuset en g.

Détermination des teneurs en MO, en MM et en C

Selon (AOAC, 1992), la teneur en matière minérale (MM) a été déterminée après incinération complète d'1 g de chaque échantillons dans un four à moufle à 500°C durant 4 heures jusqu'à la calcination totale. Ensuite, les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour les peser. Le résidu constitue les cendres totales (MM), la perte du poids observée correspond à la matière organique (MO). Les résultats sont exprimés en pourcentage

$$\% MM = P1 - P0 \text{ et } \% MO = 100\% - \%MM$$

Le pourcentage de carbone (C) est calculé à partir de la formule suivante : $\%C = MO / 1.725$

Avec **P0** : poids du creuset vide en g et **P1** : poids de l'échantillon avec creuset en g.

Détermination de l'azote total Kjeldahl (NTK)

La teneur en azote totale (N) d'un échantillon est déterminée selon la méthode de Kjeldahl. Nos échantillons sont dans un premier temps minéralisés par chauffage à 400 °C en présence de l'acide sulfurique concentré et d'un catalyseur (CuSo4). Cette étape est suivie d'une distillation suite à l'addition de la soude (10 N), l'ammoniac ainsi libéré est recueilli dans une solution d'acide borique (20 g/l). Le dosage de l'azote est effectué directement par l'acide sulfurique (0.05 N). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'azote par litre :

$$N \text{ (mg/l)} = \text{Volume versé HCl} \times 0,140067$$

Détermination du Phosphore

L'extraction est effectuée en mélangeant 1 g d'échantillon avec 8 ml de HCl (2N) et 2 ml de HCl (8N). Après agitation pendant 30 mn, on fait une filtration des extraits par HCl (2N) jusqu'à trait de jauge à 25 ml.

Le phosphore assimilable est mesuré par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 430 nm après l'ajout de 25 ml de KH₂PO₄ (250γ/ml). Le taux de phosphore assimilable est déterminé à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec des prélèvements précis de la solution-mère de KH₂PO₄ (250γ/ml).

2- Analyse biochimique

Le dosage des constituants des parois cellulaires des végétaux tel que: la cellulose et la lignine est déterminé à l'aide d'un appareil semi-automatique appelé « Fibertest ».

Pour déterminer les pourcentages en cellulose et en lignine, on doit tout d'abord déterminer l'ADF et l'ADL par l'utilisation d'une solution d'extraction au détergent acide (ADS): Solution de bromure de cétyltriméthyl ammonium à 2% (poids/volume) dans H₂SO₄ 0.5 M (1N).

Pour déterminer la teneur en résidus insolubles au détergent acide :

- Peser 1g d'échantillon dans un creuset en verre,
- Ajouter 100ml de solution ADS,
- Laisser 60 minutes à l'ébullition,
- Filtration + rinçage avec l'eau distillée chaude + acétonage,
- Séchage à l'étuve à 105°C durant 24 heures (dessiccation),
- Ajouter 30ml par creuset de la solution d'acide détergent lignine (ADL),
- Après 3 heures, filtration + rinçage avec eau distillée chaude,
- Séchage à l'étuve à 105°C,
- Incinération au four a moufle à 500°C durant 3 heures.

Les résultats sont exprimés à l'aide de ces formules suivantes :

$$\%ADF = (P_1 - P_2 * 100) / PE \text{ et } \%ADL = (P_2 - P_0 * 100) / PE$$

Détermination de la teneur en cellulose brute

Le pourcentage en cellulose est calculé à partir de la formule suivante : $\%CB = ADF - ADL$

Détermination de la teneur en lignine

Le pourcentage en cellulose est calculé à partir de la formule suivante :

$$\%LB = (P_2 - P_3 * 100) / PE$$

Avec **P0** : poids d'un gramme d'échantillon (g), **P1** : poids après premier dessiccation (g)

P2 : poids après deuxième dessiccation (g), **P3** : poids après incinération (g)

3- Analyse de champignons

Pour chaque caisse, on détermine le nombre des primordiaux, le nombre des fructifications, le rendement des champignons exprimé par la masse totale des champignons frais en gramme divisée par la masse initiale de substrat en kilogramme, et l'efficacité biologique des cultures exprimé par la par la masse totale des champignons frais en kilogramme divisée par la masse initiale de substrat en kilogramme.

Ainsi la valeur marchande des champignons (taille de chapeau, longueur de pied, poids et imperfections) ainsi l'état des ravageurs et des maladies ont été évalué.

2.4.- Analyse statistique

Les analyses de la variance se font par le logiciel SPSS avec ppds ($\alpha= 5\%$).

3- Résultats et Discussion

3-1- Culture du champignon de Paris (*Agaricus bisporus*)

Dans cette partie, nous avons discuté les compositions élémentaires, les potentialités de trois différents substrats (Compost conventionnel, compost additionnée de marc de café, et compost additionnée de grignons d'olives) à améliorer le rendement en champignons, l'efficacité biologique et la qualité marchande des champignons.

3-2- Influence du substrat

3-2-1- Analyses physico-chimiques des différents substrats

La différence des moyennes observées sur les paramètres mesurés serait due à la productivité du substrat, mais aussi à l'influence de la technique sur l'humidité et la température dans le substrat. Le substrat qui contient beaucoup d'azote donne un bon rendement, autrement dit, plus il y a de substances assimilables disponibles, plus le rendement en champignons est élevé.

L'évolution des paramètres physico-chimiques (humidité du substrat,) a été effectuée à partir des prélèvements de différents substrats au démarrage de la période d'incubation et à la fin de cette période. Les résultats des moyennes sont présentés dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques de différents substrats

Paramètres physico-chimiques	Substrats organiques	Valeur avant l'incubation	Valeur après l'incubation
Teneur en eau	Marc de café	58,02	63,32
	Grignons d'olives	59,73	60,80
	Témoin	57,56	64,45
Matière sèche	Marc de café	41,97	36,67
	Grignons d'olives	40,26	39,19
	Témoin	42,43	35,17
Pourcentage de carbone	Marc de café	36,13	33,94
	Grignons d'olives	40,56	37,68
	Témoin	35,55	30,12
C/N	Marc de café	31,14	20,20
	Grignons d'olives	41,38	27,70
	Témoin	32,91	20,21
Matière azoté totale	Marc de café	1,16	1,68
	Grignons d'olives	0,89	1,36
	Témoin	1,08	1,49
Phosphore	Marc de café	40	33
	Grignons d'olives	35	30
	Témoin	38	32
pH	Marc de café	7,17	6,18
	Grignons d'olives	7,14	6,15
	Témoin	7,64	6,08

Matière minérale	Marc de café	37,66	41.45
	Grignons d'olive	30.03	35

Les valeurs de la teneur en eau augmentent pour tous les substrats plus particulièrement pour le substrat (T) suivie de substrat (M.C). Cependant, la matière sèche a diminuée pour tous les substrats plus particulièrement pour le substrat (T) suivie de substrat (M.C). La plus petite perte de matière sèche est enregistrée chez le substrat (G.O). Ces pertes sont expliquées par la compensation de cette matière en masse fongique.

Ainsi, le carbone a diminué pour tous les substrats. Ceci reflète la dégradation des matières organiques. En effet, de semblables profils de diminution de carbone ont été rapportés pour la décomposition des matières organiques.

Par ailleurs, l'azote a augmenté. Ceci est du à la dégradation des composés carbonés réduisant la masse totale de la culture. De ce fait, le rapport C/N diminue au cours de la période d'incubation. Cette diminution est due à la croissance des champignons accompagnée de dégagement de CO₂ et de la décomposition de la matière organique, ainsi que la richesse des substrats en matière azoté.

On note aussi, une variation de pH de la neutralité vers l'acidité. Ceci peut être expliqué par les changements de la composition élémentaire de différents substrats avec dégagement de gaz carbonique. Ainsi, l'addition de marc de café et de grignons d'olives a mené le pH de compost vers une valeur plus proche de la neutralité.

3-2-2- Analyses biochimiques

Les figures 1 et 2 montrent les variations de pourcentage en Lignine et Cellulose Brute pendant au début d'incubation (L1 ET CB1) et à la fin d'incubation (L2 et CB2).

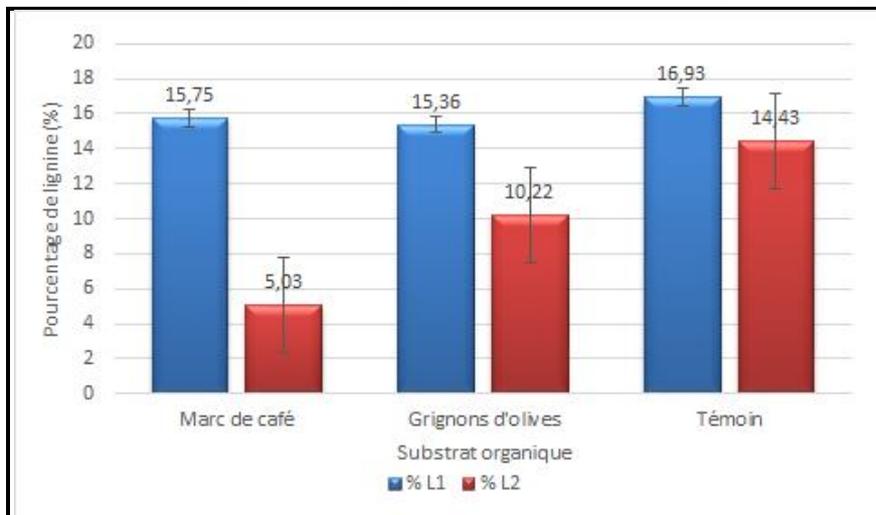


Figure 1 : Variation de pourcentage en Lignine pendant la période d'incubation

Les résultats enregistrés montrent une diminution de lignine pour tous les substrats, plus particulièrement pour le substrat à base de marc de café suivie de substrat à base de grignons d'olives. Cela est du à l'activité enzymatique de lignasse secrété par le mycélium.

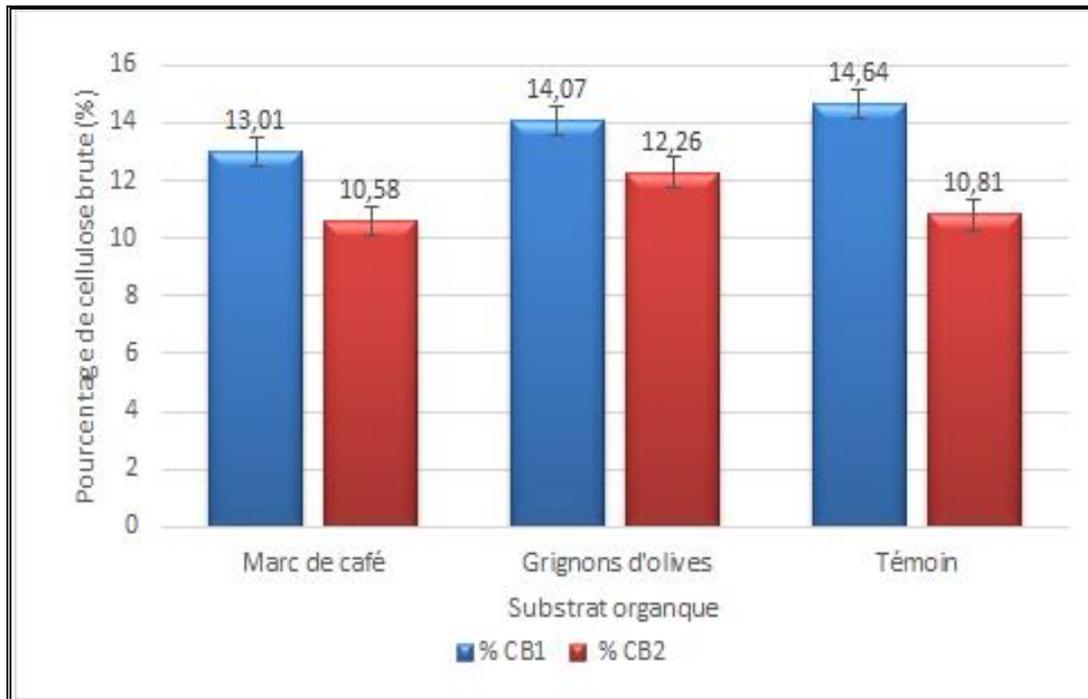


Figure 2 : Variation de pourcentage en Cellulose Brute pendant la période d'incubation

Les résultats enregistrés montrent une diminution de cellulose brute pour tous les substrats, plus particulièrement pour le substrat témoin suivie de substrat à base de marc de café. Ceci est expliqué par l'activité enzymatique de cellulase secrétée par le mycélium.

3-3- Analyses des champignons

Les champignons ont été récoltés de préférence, avant l'ouverture de la voile qui couvre les lamelles. Ensuite ils ont été pesés et mesurés. Les paramètres pris en compte sont : le nombre de pieds, le poids moyen des champignons, le poids total, le diamètre de chapeau et la longueur des pieds des carpophores récoltés.

Ainsi, le rendement en carpophore et l'efficacité biologique ont été estimés. Un test d'analyse de variance a été effectué pour l'ensemble des paramètres étudiés ppds ($\alpha= 5\%$)

Tableau 2: Paramètres de la qualité marchande de champignons de Paris

	Nombre des pieds	Poids moyen (g)	Poids total (g)	Diamètre des chapeaux (cm)	Hauteur des pieds (cm)
Témoin	4.3	83.2	360.8	8.7	4.9
Marc de café	5.3	109.5	584.4	9.2	4.1
Grignons d'olives	3.3	43.9	147.9	7.7	4.8

L'analyse de la variance a révélé de différence significative entre les trois substrats organiques autrement-dit ils ont des nombres de fructification différents. Ainsi, il existe une différence significative entre ces nombres de pieds en fonction des substrats sur lesquels ils sont développés. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 13.32 et 1.308.

Le nombre le plus élevé de fructification (5.3) par caisse a été observé dans le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (4.3) et le nombre le plus bas de fructification a été observé dans le compost à base de grignons d'olives (3.3).

L'analyse de la variance a révélé de différence significative entre le poids moyen de trois substrats organiques les trois substrats organiques autrement-dit ils ont de poids moyen différents. Ainsi, il existe une différence significative entre ces poids moyens en fonction des substrats sur lesquels ils sont développés. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 3.66 et 6.548.

Le nombre le plus élevé de poids moyen (109.5) a été observé dans le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (83.2) et le poids moyen le plus bas de fructification a été observé dans le compost à base de grignons d'olives (43.9).

L'analyse statistique ANOVA a montré une différence non significative entre de poids total le substrat à base de marc de café et le témoin. Autrement-dit ils ont de poids total par caisse semblables.

Par contre, ces deux substrats et le substrat à base de grignons d'olives différaient significativement. En outre, il existe une différence significative entre ces poids totaux par caisse en fonction des substrats sur lesquels ils sont développés. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 15.84 et 130.09

Le nombre le plus élevé de poids total (584.4) a été observé dans le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (360.8) et le poids total le plus bas a été observé dans le compost à base de grignons d'olives (43.9). La grande différence de poids total chez le substrat à base de marc de café par rapport aux autres substrats, est expliquée par son nombre de pieds et son poids moyen de champignons les plus élevés.

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre le diamètre de chapeau substrat à base de marc de café et le témoin autrement-dit ils ont les mêmes diamètres de chapeau semblable. Cependant, ces deux substrats et le substrat à base de grignons d'olives différaient significativement. Il existe également une différence significative entre ces diamètres de chapeaux en fonction de différents substrats. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 4.36 et 0.848.

Les carpophores développés qui ont présentés des chapeaux à plus large diamètre (9.2) ont été observés sur le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (8.7) et le diamètre de carpophore le plus bas a été observé dans le compost à base de grignons d'olives (7.7). La taille du chapeau est plus probablement en relation avec le poids total de champignons.

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre l'hauteur de pied le substrat à base de grignons d'olives et le témoin. Autrement-dit ils ont les mêmes longueurs de pieds. Cependant, ces deux substrats et le substrat à base de marc de café différaient significativement. Il existe également une différence significative entre ces hauteurs de pieds en fonction de différents substrats. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 5.47et 0.578.

Le pied de champignons le plus long (4.9) a été observé sur le compost à base de grignons d'olives suivi du compost témoin (4.8) et le pied le plus bas a été observé dans le compost à base de marc de café (4.1).

En effet, les pieds de carpophore les plus courts ont été rencontrés chez les champignons qui ont les diamètres les plus larges.

4-4- Rendement et efficacité biologique

L'analyse statistique ANOVA a révélé de différence significative de rendement en carpophores par kg de compost entre les différents substrats (fig. 3). Autrement-dit, les estimations de rendement sont variables. Ainsi, il existe une différence significative entre ces rendements en carpophores en fonction des substrats. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 15.83 et 6.539.

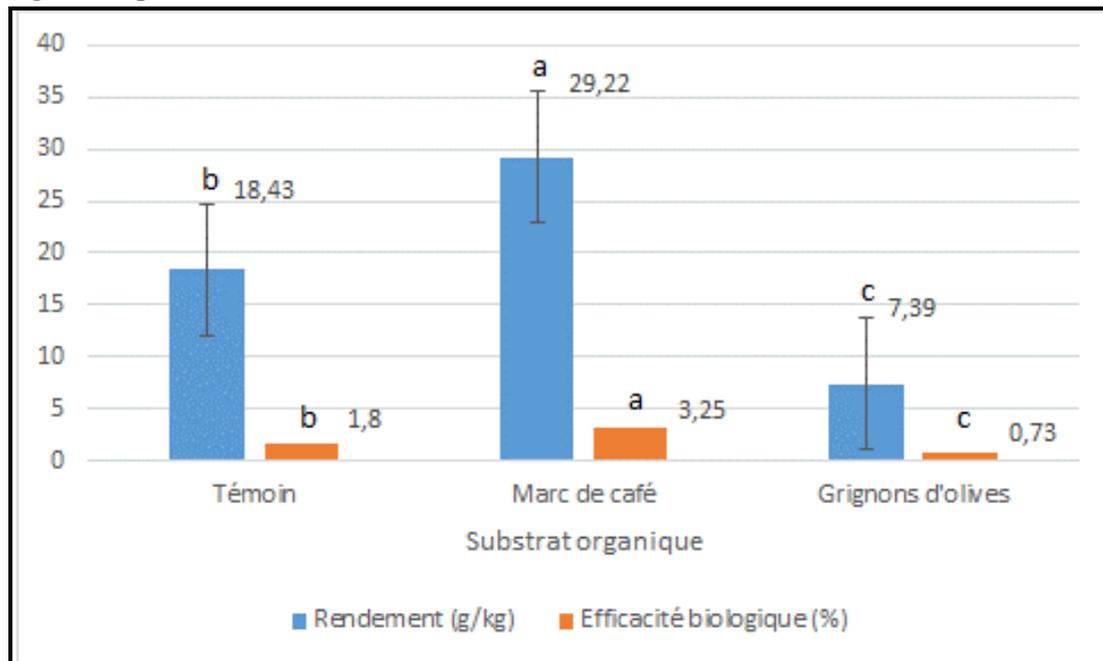


Figure 3 : Rendement et efficacité des champignons par type de substrat

Le rendement en carpophore par kg de compost le plus élevé (29.22) a été estimé pour le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (18.43) et le rendement de carpophore le plus bas a été évalué pour le compost à base de grignons d'olives (7.39). Il est certain qu'il y'a une relation entre le rendement en carpophore et le poids moyen de champignon.

En effet, l'addition de marc de café a amélioré le rendement de 10.79 (g/kg)

L'analyse statistique ANOVA a révélé de différence significative de l'efficacité biologique de champignons entre les différents substrats. Autrement-dit, ils ont des efficacités biologiques différentes.

Ainsi, il existe une différence significative entre l'efficacité biologique en fonction des substrats. Autrement-dit, la souche cultivée présente différentes capacités à transformer le compost de fructification en carpophores en fonction de différents substrats organiques. Le coefficient de variation et le ppds sont égaux respectivement aux 9.49 et 0.418.

L'efficacité biologique de champignon le plus élevé (3.25) a été estimé pour le compost à base de marc de café suivi du compost témoin (1.80) et le rendement de carpophores le plus bas a été évalué pour le compost à base de grignons d'olives (0.73). Il est certain qu'il y'a une relation entre l'efficacité biologique et le rendement en carpophores.

Les procédés de la culture du champignon de Paris ont été suivis avec succès. La température optimale d'incubation de cette culture est 25°C. L'incubation a été faite au voisinage de cette valeur et le compost est totalement envahi par le mycélium ainsi qu'il a pris un aspect blanchâtre. Le mycélium a également réussi à envahir la tourbe après l'étalement de la couche de gobetage. Ces différents facteurs ont été décrits par [11].

La diminution de lignine et de la cellulose montrent que l'*Agaricus bisporus* contient à la fois des enzymes cellulotiques et ligninolitique. Les diminutions en matière organique et en carbone dans tous les substrats reflètent leurs décompositions pour être compenser dans la croissance mycélienne et le développement des carpophores [15].

L'addition de marc de café et de grignons d'olives n'a pas eu un effet positif sur le pH de substrat [11]. Le meilleur pH du compost d'*Agaricus bisporus* doit être compris entre 7.2 et 7.8 si non la croissance de champignons sera lente et de moisissure blanche en plâtre (*Scopulariopsis fimicola*, *S.brevicaulis*) peuvent envahir ce type de compost. Au début de la culture, seul le témoin a présenté un point de 7.68 compris dans cet intervalle de pH.

Le substrat additionné de marc de café a été utilisé avec succès dans notre essai. Le rendement et l'efficacité biologique ont été nettement supérieurs. En production de pleurotes ([12] et [6]) ont montré que le marc de café a donné de bons résultats et ont mentionné aussi que la qualité marchande de pleurotes cultivés sur marc de café est améliorée. Ce résultat est confondu à notre carpophores de champignons de Paris produits sur le substrat additionné de marc de café.

Contrairement au marc de café, l'addition de grignons d'olives n'a amélioré ni le rendement ni la qualité marchande de champignons, bien qu'il a amélioré la composition élémentaire de compost. Il est proposé que la quantité additionnée au compost de grignons d'olive soit réduite pour que le mélange substrat et grignons d'olives puisse augmenter le rendement en champignons par rapport au témoin.

Tous les rendements enregistrés de trois différents substrats sont significatifs mais restent inférieurs au rendement estimé en champignon de couche par [9].

Selon [10], environ les 2/3 de la récolte totale peuvent être récoltés dans les deux premières volées. Dans ce projet, on n'a pas pu récolter que la première volée à cause de l'augmentation de la température dans la chambre de culture non conditionnée.

La présence des insectes ravageurs tel que les acariens et les mouches attirés par l'odeur du substrat et le mycélium lui-même du début d'incubation jusqu'à la récolte constitue un véritable facteur de diminution de rendement.

5- Conclusion

L'essai de culture du champignon de Paris à la ferme de l'École Supérieure d'Agriculture du Kef (ESAK), nous a permis maîtriser la majorité des procédés de conduite du champignon de couche. Les meilleurs rendements, efficacité biologique et qualité marchande enregistrés pour la culture de champignons de Paris sont liés à la nature du compost additionné comme le marc de café.

Afin d'optimiser le rendement et l'efficacité biologique de marc de café et de grignons d'olives, il est proposé d'augmenter leurs pourcentages à plus que 6% de la masse de compost d'autres ingrédients doivent être ajoutés pour améliorer la composition élémentaire de

compost, le pH etc tel que le gypse, magnésium et calcium. Le marc de café peut être valorisé pour produire d'autres espèces fongiques.

Plusieurs recherches se concentrent sur la capacité médicinale de l'*Agaricus bisporus*. A cet égard, des tentatives biotechnologiques visent à optimiser cette capacité à travers l'enrichissement des substrats utilisés pour la culture. Une étude peut être réalisée sur l'effet de ces trois substrats utilisés sur les métabolites secondaires, les substances anticancéreux et la composition chimique et biochimique de champignon de couche.

La culture de champignon de Paris est très exigeante, il est indispensable de cultiver la souche dans un milieu conditionnée et contrôlée. Ceci permet d'une part à améliorer la production et d'autre part à réaliser des recherches scientifiques sur l'effet de l'humidité, température et CO₂ sur le rendement, l'efficacité biologique et la qualité marchande des champignons.

Cette étude sur la culture de champignon de Paris à la ferme de l'Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef (ESAK) a offert une perspective. En se basant sur les caractéristiques des souches sauvages d'*Agaricus bisporus*. Ces dernières indiquent qu'elles possèdent un potentiel intéressant pour l'introduction sur le marché régional et pour l'amélioration des souches cultivées [16].

La culture des champignons pourra être entravée par les maladies dont la présence des insectes ravageurs tel que les acariens et les mouches du début d'incubation jusqu'à la récolte constitue un véritable facteur de diminution de rendement. Ainsi, les mouches et les moucheron sont attirés par l'odeur du substrat et le mycélium lui-même. Une infestation au démarrage de la culture par ces ravageurs peut être très dommageable.

Ces derniers diminuent le rendement puisqu'ils se nourrissent du mycélium et des éléments minéraux et organiques contenant dans le substrat. L'augmentation de la température (>30°C) et sa coïncidence avec la période de fructification, est responsable de la diminution de rendement et brunissement des quelques chapeaux récoltés.

References

- [1] Atila F C; Owaid M N et Shariati M A, (2017). The nutritional and medical benefits of [2] *Agaricus Bisporus*: A review. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences, Vol 7: 281-286. DOI: 10.15414/jmbfs.2017/18.7.3.281-286.
- [3] Breene, W.M., 1990, Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms, Journal of Food Protection, 53 (10), 883-894.
- [4] De Failly, D., 2000, L'économie du Sud-Kivu 1990-2000 : mutations profondes cachées par une panne, dans S. Maryse et Reytjens eds. L'Afrique des grands lacs, *Annuaire 1999-2000*, Paris : l'Harmattan, p. 163- 192.
- [5] Eyi Ndong, H., S. Cognet, J. Degreef et C. Bracke, 2008, Valorisation des champignons comestibles du Gabon : essai de mise en culture d'une souche sauvage locale de *Lentinus squarrosulus* Mont. In : Vermeulen C. et Doucet J.L., eds. Les premières forêts communautaires du Gabon. *Gembloux*, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, 35p.
- [6] Fan, L.; Pandey, A.; Mohan, R.; Soccol, C.R., (2000). Use of various coffee industry residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in solid state fermentation. *Acta Biotechnologica*, 20. 41-52. DOI: 10.1002/abio.370200108

- [7] Jandaik, C.L. et S.P. Goyal, 1995, Farm and farming of oyster mushroom (*Pleurotus sp*). In : Singh R.P. et H.S. Chaube, editors. Mushroom Production Technology. G. B. Pant Univ. Agril. And Tech., Pantnagar India, 72-78 p.
- [8] Kabel, M. A., Jurak, E., Mäkelä, M. R., et de Vries, R. P, (2017). Occurrence and function of enzymes for lignocellulose degradation in commercial *Agaricus bisporus* cultivation. Applied Microbiology and Biotechnology, Vol 101 : 4363–4369.
- [9] Kamthan R. et I. Tiwari, (2017) Agricultural Wastes- Potential Substrates For Mushroom Cultivation. Eur. J. Exp Biol, Vol 7 : 1-4
- [10] Maheshwari S, (2013). A Guide for White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) Production. Vol 2. 668. DOI: 10.4172/scientificreports.668
- [11] Manjit S, Bhuvnesh V, Shwet K, Wakchaure G C, (2011). Mushrooms Cultivation, Marketing and Consumption. Directorate of Mushroom Research (ICAR). Solan, India. file:///C:/Users/sana/Desktop/general/book-cultivation-merged%20nvvvvv.pdf
- [12] Martínez-Carrera, D., A. Aguilar, W. Martínez, M. Bonilla, P. Morales & M. Sobal, (2000). Commercial production and marketing of edible mushrooms cultivated on coffee pulp in Mexico. Chapter 45, pp. 471-488. In: Sera, T., C. Soccol, A. Pandey & S. Roussos (Eds.). Coffee biotechnology and quality. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 0-7923-6582-8
- [13] Mattila, P., K. Konko, M. Euroola, JM. Pihlava, J. Astola, L. Vahteristo, V. Hietaniemi, J. Kumpu, M. Valtonen et V. Piironen, 2001, Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms, J. Agric. Food Chem. 49 (5), pp. 2343-2348
- [14] Owaid M-N, Barish A, Shariati M-A, (2017). Cultivation of *Agaricus bisporus* (button mushroom) and its usages in the biosynthesis of nanoparticles. Open Agriculture, Vol 2. : 537-543.
- [15] Pontes MVA, Patyshakuliyeva A, Post H2, Jurak E, Hildén K, Altelaar M, Heck A, Kabel MA3, de Vries RP, Mäkelä MR, (2017). The physiology of *Agaricus bisporus* in semi-commercial compost cultivation appears to be highly conserved among unrelated isolates. Fungal Genetique Biology : 1087-1845 (17) 30186
- [16] Salmones D., R. Gaitan-Hernandez et G. Mata 2018. Cultivation of Mexican wild strains of *Agaricus bisporus*, the button mushroom, under different growth conditions *in vitro* and determination of their productivity. BASE. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement/Biotechnology, Agronomy, Society and Environment Vol 22 : 45-53
- [17] Shongwe S., 2007, Effect of wheat bran on the yield of oyster mushrooms. Unpublished B.Sc. Thesis, University of Swaziland, Luyengo, Swaziland.
- [18] Vetter, J., 1994, Mineral elements in the important cultivated mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus osteratus*, *Food Chemistry*, 50, pp. 277-279